



Title	銅酸化物高温超伝導体及び希薄磁性半導体における不純物効果に関する理論的研究
Author(s)	松中, 大介
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45809
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	まつ なが たい すけ 松 中 大 介
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 19470 号
学位授与年月日	平成17年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	銅酸化物高温超伝導体及び希薄磁性半導体における不純物効果に関する理論的研究
論文審査委員	(主査) 教授 笠井 秀明 (副査) 教授 川上 則雄 教授 菅原 康弘 教授 萩行 正憲 助教授 大中幸三郎

論文内容の要旨

本論文は、銅酸化物高温超伝導体及び希薄磁性半導体の物性を解明するために、フェルミ液体論に基づいて微視的な立場からそれぞれの不純物効果に関する理論的研究を行ったものであり、得られた結果を以下の5章にまとめたものである。

第1章では、序論として銅酸化物高温超伝導体と希薄磁性半導体のこれまでの研究について概観し、それぞれの不純物効果に関する研究の重要性を指摘した。

第2章では、銅酸化物高温超伝導体の CuO_2 面の電子状態を記述するための基本的なモデルである d-p モデルを導入し、電子相関を扱う手法として弱相関領域からのアプローチである揺らぎ交換近似について述べた。また、常伝導状態における Cu 置換非磁性不純物及び酸素欠損のそれぞれの近傍での電子状態を調べるために局所状態密度を計算した。その結果、Cu 置換非磁性不純物及び酸素欠損のいずれの近傍においても、フェルミエネルギー付近での局所状態密度はフェルミ面の形状が反映された空間分布を持ち、また d 電子と p 電子の局所状態密度は同様の空間分布を持つことを明らかにした。

第3章では、銅酸化物高温超伝導体における Cu 置換非磁性不純物による超伝導転移温度の低下について、スピン揺らぎ機構に基づく微視的な解析を行った。その結果、高温超伝導を媒介するとされる反強磁性スピン揺らぎが非磁性不純物によって抑制されることを明らかにした。また、エリアシュベルグ方程式を解いて非磁性不純物による超伝導転移温度の低下率を見積もり、実験結果とほぼ一致した値を得ることができた。さらに、超伝導転移温度の低下率の正孔濃度依存性について最適ドーブからオーバードープ領域にかけて定性的に実験結果を再現し、低正孔濃度での超伝導転移温度の大きな低下には、不純物散乱による準粒子寿命の増大が主に反映されていることを明らかにした。

第4章では、希薄磁性半導体における磁性不純物の配置の不規則性に起因した非局所的相関を考慮するための理論的手法を構築し、希薄磁性半導体のキャリアの電子状態及びスピン偏極に関する解析を行った。その結果、磁性不純物間の超交換相互作用によってキャリアのスピン偏極が抑制されることを明らかにした。さらにそのスピン偏極の抑制は、キャリアと磁性不純物間の交換相互作用が大きい系に対して、また高い不純物濃度において、著しくなることを見出した。

第5章では、各章で得られた結果について総括し、今後の展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

銅酸化物高温超伝導体と希薄磁性半導体は磁性と電気伝導が密接な関係にある興味深い物質であるだけでなく、近年応用開発が期待されている物質でもあり、これらの物性を解明することは重要な研究課題である。本論文は、それぞれの不純物効果についてフェルミ液体論に基づいて微視的な立場から理論的研究を行い、それらをまとめたものである。本研究における主な成果を要約すると以下のとおりである。

(1)銅酸化物高温超伝導体の CuO_2 面における非磁性不純物近傍の電子状態について解析を行っている。Cu 原子に対して置換された非磁性不純物原子と酸素欠損とを区別するために微視的なモデルを用い、常伝導状態におけるそれぞれの近傍の局所状態密度を計算している。その結果、いずれの場合においても、局所状態密度は d 電子と p 電子について同様の空間変化をすることを明らかにしている。フェルミエネルギーでの空間分布はフェルミ面の形状が反映された形状を持ち、また低温ではファンホーフ特異点に対応して、Cu 置換非磁性不純物の場合では X 軸と Y 軸に沿った振動が現れ、酸素欠損の場合には X 軸と Y 軸のどちらか一方に沿った振動が現れることを示している。

(2)揺らぎ交換近似とコヒーレントポテンシャル近似を用いることで電子相関と不純物散乱を同時に考慮する手法を提案している。その手法を用いて、銅酸化物高温超伝導体における非磁性不純物による超伝導転移温度の低下に関して、超伝導発現機構を具体的に考慮した微視的な解析を行っている。その結果、高温超伝導を媒介するとされる反強磁性スピン揺らぎが非磁性不純物によって抑制されることを明らかにしている。また、エリアシュベルグ方程式の解から超伝導転移温度を見積もり、非磁性不純物による超伝導転移温度の低下率について実験とほぼ一致する値を得ている。さらに、超伝導転移温度の低下率の正孔濃度依存性を最適ドープから過剰ドープ領域に対して定性的に再現している。低正孔濃度における超伝導転移温度の大きな低下率は、不純物散乱による準粒子寿命が短いことが主な原因であることを明らかにしている。

(3)希薄磁性半導体において磁性不純物の配置の不規則性に起因する非局所的相関を取り扱う理論を構築し、磁性不純物間の超交換相互作用がキャリアの電子状態とそのスピン偏極に及ぼす効果について調べている。その結果、キャリアのスピン偏極が超交換相互作用によって抑制されることを明らかにしている。さらに、キャリアと磁性不純物の間の sp-d 相互作用が強いほど、非局所的相関が大きいため超交換相互作用によるキャリアのスピン偏極の抑制は著しいことを見出している。また、不純物濃度の増加によって、この超交換相互作用による影響は顕著になることを明らかにしている。これらの結果から、高い強磁性転移温度を持つ希薄磁性半導体の実現のためには均一な不純物分布が重要であることを指摘している。

以上のように、本論文はフェルミ液体論に基づく微視的な立場から、銅酸化物高温超伝導体と希薄磁性半導体における不純物の効果について理論的に解析したもので、基礎的な面のみならず、応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。